高速抄紙機用セラミックカバーの選択*

ドイツ国 セラムテック株式会社 工学士 K. D. フックス, ○P. ラング**

Recent Experiences in the Selection of Modern Ceramic Covers for High Speed Paper Machines

Karl Dieter Fuchs and Peter Lang
CeramTec AG

P. ラング**

** (写真註)

K. D. フックス氏の原稿
を日本語で講演する同社日
本代表 P. ラング氏

Modern principles of sheet-forming systems like Hybrid Formers and Gap Formers could be realized only because new components and materials with specific properties are available today.

With the examples of a dewatering and forming shoe with curved formation length and a two slotted felt suction cover, the selection criterious necessary for ceramic covers in modern Paper Machines will be explained.

When producing Fine Papers with heavy filler load the wear resistancy of modern ceramic materials can be an even more important selection criterion than the heat resistancy factor.

Studying the Tribosystem involving the factors fabric, ceramic cover and fillers more closely, we find the fabric wear and the drive load consumption of a sheet former mainly determined by the filler and the ceramic material in use.

When using filler materials, considered from a mineralogical point of view, consisting of hard and adrasive substances like ground calcium carbonate, fabric and cover wear is determined by the abrasiveness of the filler material and the surface characteristic of the ceramic material.

We can prove, that fabric and cover wear are determined more by the particle size and particle size distribution than by the quantity of fillers in use. The percentage of pores, the diameter of pores and the pore distribution in the caramic cover's suface play a dominating role in the wearing mechanism, too.

With ceramic cover materials it is now possible to measure the surface porosity with an interactive picture analysis system. This makes it possible to give exact statements about

*平成9年度年次大会講演 (講演 No.B 1-19)

pore numbers, pore sizes and pore size distribution. Today this IBAS surface porosity measurement is an important supplement to the previously known measuring methods with which the surface of ceramic covers are described and defined. Now it is possible to give clear statements about the diameter relation of filler particle and cover pore.

The manufacturers of fabrics, fillers and ceramic covers now can play an active role in optimizing their products further to assist the paper makers' efforts in achieving a higher productivity in modern sheet formers.

Keywords : Ceramic, ceramic cover, dewatering element, wear, high speed

1. はじめに

アルミナ系セラミック・フォイルやサクション・ボックス・カバーが、1960年代の半ばに日本の抄紙機に取付けられた時、関係者にはセラミックの脱水及び地合形成機器が、日本においてもペーパー・マシンの主要な標準設備になるとは、考えられてはいなかった。それ以来、地合形成方式の設計は絶えず研究・開発されてきた。そして、プレス・パートの一部を含むウェット・パートの開発は、特筆に値するものである。この研究・開発の主な理由は、この独特な地合形成方式によってのみ、紙の生産において最大の経済性と最高の品質を得られることが評価されたからである。

今日、ハイブリッド・フォーマーやギャップ・フォーマーのような高性能シート・フォーミング・システムには、例えば曲線状の面を持った脱水・フォーミング・シュー、調節が可能なフォーメーション・ストリップ付きのフォーマーがある。或いはまたプレス・パートでは、フェルト・コンディショナー及びユール・ボックスとしての、殆ど全てのと言ってよい程のサクション・チューブがある。未だかつてない程多く、今日これらの機器はファイン・セラミックを使用している。ペーパー・マシン・デザイナーや製紙会社にとってセラミックの選択の基準になるものは、それぞれの使用条件において、要求される機能を満足させるファイン・セラミックの材質である。もしペーパー・マシンの使用条件での機械及び熱的条件が分かれば、最も経済的なセラミック・カバーを選択することが出来る。

使用条件が変わらない限り、セラミックの機能特性は出来る限り寿命の長いものにする。使用条件が変われば一般的にはセラミックの機能もそれに伴って変る。一つ或いはそれ以上の材質特性が、ひとたび限界に達するか或いは限界を突破したら、もはやセラミックは正しく機能しない。今や他のセラミック、或いは新しい特性を持ったセラミックが要求されている。勿論この事はペーパー・マシン・デザイナーや製紙会社が、他

の選択基準を考えねばならないことを意味するものである。

我々は我々の経験に基づいて、最新型ペーパー・マシンの設計原理が実用化出来ることをあくまでも追及していくものである。何故ならば我々のセラミック産業が適切な特性を持った機能セラミックを、開発することに成功したからである。

2. 熱応力ファクターの重要性

図1は現在ファイン・セラミックと呼んでいるものを示す。ファイン・セラミックは金属酸化物、金属炭化物、金属窒化物、及びそれらの化合物を主成分とする硬い多結晶物質である。ワイヤー・パート及びプレス・パートにおける脱水機器は設計とプロセスの原理を決定する上で、ファイン・セラミックの果たす役割の限度を示すために使用される。逆説的に言えば、フ

図1 Material Groups

ファイン・セラミックのみが設計の原理を経済的に実用化させることが出来るのである。

ペーパー・マシンのワイヤー・パートとプレス・パートのアルミナ系セラミックは長い間最高級品を代表してきた。金属酸化物を主成分とするもので、最も重要且つ代表的なものはアルミナ系セラミックである。読者もこのものの知識と、又これをペーパー・マシンに使用した経験があるはずと思う。1980年代の初めまではこのセラミックは長網抄紙機のワイヤー・パートとプレスのセラミックに対する要求を全て満たしてきた。しかしながら、曲線状の脱水機器をもった最初のハイブリッド・フォーマーが使用され、まったく新しい事態が起った。すべての関係者は、アルミナ系セラミックはもはや新しい要求には応じられないことを、認めざるを得なくなった。その理由と結論を次に述べる。

先ず第一に、ペーパー・マシン・デザイナーと製紙会社は、更に抄速を上げ、そして常に紙の品質向上を望む市場の要求に応えるためには、曲線状の脱水機器が必要であるということで意見が一致している。この要求は、我々セラミック専門家にとって大きな挑戦である。何故ならアルミナ系セラミックは、本質的に限界にきてしまったことを認めざるを得なかったからである。

2.1 熱疲労抵抗の測定

新しい特性をもったファイン・セラミックが要求されるようになって、重大な局面が到来した。ここ数年、しばしば討議されたこの新しい特性の一つは、熱疲労抵抗である。これこそ新しいファイン・セラミックが曲線状脱水シュエ、又はプレスの各種サクション・チューブ、特にシュエ・プレスに使用できるであろうと考えた主要な決定要因である。

ファイン・セラミックの熱疲労抵抗は図2に示すように、サーマル・ストレス・パラメーター（熱応力特性値）によって測定される。

最も重要な数値は：

- ・破壊点における応力 σ_B
- ・膨張係数 α

$$R = \frac{\sigma_B * (1 - \mu)}{\alpha * E}$$

図2 Thermal Stress Factor

・そしてセラミックのヤング率 E

もう少し明瞭に表現すると R はセラミックがクラックを起こさないで耐えられる温度差である。何故により高い熱疲労抵抗が求められ、そして何故にそれが要求されるか、ストリップ・サクション・ボックス・カバー 3 本を使って説明する。

2.2 摩擦熱の発生と応力ひずみ

摩擦熱は図3が示すようにカバーの表面で起る。この熱はワイヤー及びフェルトが運転されることで起る。摩擦熱はあなたが手のひらをこすっても起る。より強く、より速くこすれば、摩擦による発熱量は次の場合により多くなる。すなわち

- ①ワイヤー及びフェルトのスピードの増加
- ②サクション・ボックスの増加
- ③ワイヤー及びフェルトとカバーの摩擦係数の増加である。

摩擦係数がワイヤー及びフェルトとカバーの間の水の量に、強く影響を受けるということは常識になっている。理論的には摩擦力、例えばカバーに沿ってワイヤー及びフェルトを引っ張るのに必要な力についても同じことが言える。図3が示すように、カバーの表面に起る摩擦熱によりカバーは温められ、それにより起る熱は非常に高温になることがある。又、そのためにワイヤー及びフェルトの糸が溶けてしまうことがある。

セラミック・カバーの幅方向に拡がる速さは材質の熱の伝導率により決まる。もっと簡単に言えば、カバ

図3 Dry-Run

一の熱伝導が増せば、カバーの表面に起る熱の幅方向の伝達も速くなる。熱伝導率が悪ければ、伝達も遅くなる。金属サクシオン・チューブの応力ひずみ曲線と、セラミック・サクシオン・チューブの比較をしてみる。金属の場合、幅方向の下側の温度と、上側の温度が同じになるのに長くはかからない。又、表面に生じた熱は極めて短時間で幅方向に伝達するからである。結果として圧縮応力と引張応力は、殆ど均一に幅方向に伝達する。上部と下部の表面の圧縮応力は実際には同じである。かくして応力の差はないのである。

ファイン・セラミック・サクシオン・チューブの応力ひずみ曲線は、全く異なっているように見える。セラミックが熱の不良導体であることは誰でも知っている。材料にもよるが、熱伝導は鉄に較べ20~30倍小さいのである。カバーの表面に生じた熱は幅方向に非常にゆっくり伝達する。そのためにカバーの上部と下部の間には大きな温度差が生じ、その結果、大きな膨張差及び応力差が生じる。スライドが示すようにこれが圧縮応力である。

2.3 ヒートクラックの発生

そして均質でないファイン・セラミックでは、物理学の法則をひっくり返すようなことが起るので、次のようなことも当てはまる。もしセラミックに加えられたひずみ量がその物の耐応力よりも大きい場合は損傷が起る。これがクラックである。これらの損傷は全幅方向に互って直線的に走る。それは明らかに材質の特性によるもので、我々はヒート・クラックと言う。

しかしながら実際の問題として、どのような操業条件の時にこのような損傷が起ると思われるだろうか？我々が見てきたように、セラミック機器の温度差が大きくなるにつれて、ヒート・クラックの危険が増大する。我々の経験ではもしペーパー・マシンを、ドライ・ランニング状態で操業速度までスピード・アップするとワイヤー或いはフェルトがセラミック・カバーの表面に大量の摩擦熱を発生させる。これがヒート・クラックの主因である。最近の経験ではドライ・ランニングは少なくなっていると思うが、スプレイ・パイプ等を設置するとか、準備万全を期しても全く無くなったわけではない。我々はこのような事故とは共存して行かねばならないと思う。しかしながら、我々のシュミレーターでの実験では、反対にドライ・ランニングは必ずしもヒート・クラックを引き起こすことはないということが分かった。

マシンが短時間停止した場合は、実際には依然として操業時の温度であり、セラミックの温度もある程度本体の温度と同じである。もしこのようなマシンのス

タート・アップの時ドライ・ランニングが起り、そして操業速度までに達したら、セラミック・カバーの温度は全く同じである。しかし、ドライ・ランニングが制御して行われれば、予防することは実際に可能である。制御するとはマシン・スピードをゆっくり増速することである。ドライ・ランニングによって単位時間に発生する熱は、マシンを急速に操業速度まで増速する時よりも少ないのである。

更に、摩擦熱がセラミック全幅に均一に拡散するには、かなり時間がかかる。この場合クラックを引き起こすストレス・ピーク（応力の頂点）なるものはない。しかしセラミックがこの方法でドライ・ランニングを乗り切っても、クラッキングは依然として起り得る。そしてその損傷程度は前に述べたヒート・クラックよりも、もっと悪い。摩擦で加熱されたセラミック・カバーが急激に冷却されると表面のクラックは破裂することがある。また洗浄のためにセラミックに冷却水を吹きかけた時などに起る。

セラミックの専門家として図4に示すようなサーマル・ショック・クラックについても述べなければならぬ。多くの小さなマイクロ・クラックを読者はガラス製品の俗に言う網状ひび割れ焼で理解できるであろう。クラックの原因となる幅方向の応力差はヒート・クラックによる応力差とほとんど同じである。しかしすべて逆の事が起きている。すなわちマイクロ・クラックは引っ張り応力により起り、圧縮応力ではないというものである。専門家は個々のケースでクラックがヒー

図4 Thermo-Shock

ティングによるものか、急激な冷却によるものかが見分けられるのである。

2.4 セラミックカバー表面温度の測定

ワイヤー・パートとかプレス・パートのセラミック・カバーの表面の温度を確かめるために、我々はシュミレーター・テストを実施し、熱電対で測定した。図5は曲線状の面をもった脱水シューを示している。現在すべてのハイブリッド・フォーマーやギャップ・フォーマーに見られるものである。

セラミック・カバー表面の温度は次の三つの要素で決まることがわかった。すなわち

- ・曲率半径
- ・接触角度
- ・二つのワイヤーのワイヤー・テンション

である。潤滑シャワーを用いてワイヤー・スピードが毎分800メートルの時、わずか3分後にアウトレット・ストリップの表面温度は190℃と測定された。

サクション・チューブ・カバーのプレス・シミュレーターによる温度測定で、ペーパー・マシンのワイヤー・パートより更に一層高い温度がプレス・パートで生じることも確認された。フェルトのスピードが毎分1,000メートルの時は、温度200℃が測定され、そして毎分1,400メートルの時の温度は250℃であった。2-スリット・チューブ・カバーの測定結果は、たいへん興味深いものである。

また、3本のサクション・チューブ・ストリップでは明らかに独特な温度を示す。そして2本目と3本目のストリップの温度は、1本目のストリップより大幅に高いことも注目値する。

上述のことから、熱応力ファクター（係数）はペー

パー・マシンのセラミックの材質を選択する上で、現在非常に重要な判断基準であると結論づけることができる。

3. ファインセラミックスの選択

3.1 ファインセラミックスの種類と特性

図6で現在のファイン・セラミック材は、きわめて価値ある熱応力ファクターを有していることが分かる。現在これらのファイン・セラミック材は、下記の何種類かの紙のペーパー・マシンのマシンのスピード記録を更新したハイ・スピード・ペーパー・マシンにおいて、すべての機能を満足させている。すなわち

- ・新聞用紙：抄速 毎分 1,652メートル
- ・塗工原紙：抄速 毎分 1,625メートル
- ・上質紙：抄速 毎分 1,310メートル
- ・軽量コート紙：抄速 毎分 1,527メートル

である。

これらの抄紙プラントでは、ペーパー・マシン・デザイナーと製紙会社は、どのセラミックをペーパー・マシンのどのポジションで、そして、とりわけ経済性、操業性、そして作業性についての判断基準によって決める。セラミック・カバーのメーカーとして、我々は上記のペーパー・マシン・スピードは、引き続き上昇すると考えている。

更に意志決定の要因、例えば表面の品質、より卓越した硬度、より優れた強靱性が疑いなく重要さを増すと思われる。又、特に炭酸カルシウムを使用する上質紙用ペーパー・マシンの改造或いは新設で、大いに関連のある論題はワイヤーの摩耗である。我々はこの分野での最も新しい開発について簡単に説明する。

図5 Surface Temperature Curved Shoe

図6 Thermal Stress Factor

3.2 填料と摩耗性

摩耗が起るメカニズムには問題解決の手がかりとなる要因がある。もし摩耗の損害を調査する必要があるれば、ワイヤー、セラミック・カバーそして填料は詳細に検討しなければならない(図7)。

摩耗の学説・体系には、摩耗のメカニズムを決定するその他の特性が数多く存在する。この体系全体について検討するのは与えられた紙面では不可能であるから、我々はペーパー・マシン用ファイン・セラミック・カバーの表面の品質にとって重要な調査結果に限って検討する。

現在まで、ファイン・セラミックの表面の定義づけは、主として面粗度と凹凸を測定することであったが、ファイン・セラミックには永い間よく知られた特性の数値を正確に測定する方法がある。ここ数年来、ドイツ紙パルプ技術協会のフィラー・ピグメント・グループが開発を進めてきた摩耗の新しいテスト機器により、ファイン・セラミックのポロシティ(空隙率)が摩耗のメカニズムで、重要な役割を演じていることが分かった。それ故我々はポロシティを見つけて測定する方法について簡単に論じたい。

3.3 ファインセラミックス表面空隙率

分散セラミック・カバーの表面をインタラクティブ(相互作用)イメージ(画像)分析システムにより表面ポロシティの測定をする。システムは小さな孔を記録・計算し、孔径毎に分級する。一例を示すと730個のうち30個の小さな孔がある。730個のうち

30個は分級のクラス2、すなわち孔径は1.259-1.585ミクロンなどである。全ての小さな孔の50%の中央値は分級のクラス6、すなわち孔径3.1163-3.981ミクロンである。小孔の直径平均、すなわちすべての記録・測定された小さな孔の算術平均値は4.866ミクロンになる。セラミック機器の小さな孔の表面の平均値を%で表わすので、セラミック・カバーの接触面積の比率(%)は計算出来る。

ガウスのディストリビューション・カーブ(分散曲線)で、上記に述べたディスペーション(分散)セラミックと、標準的なアルミナ系セラミックのポロシティ(多孔率)を直接比較する。また標準的なアルミナ系セラミックのポロシティを窒化硅素セラミックのそれとの比較もする。直接比較するだけで、両者のセラミック・カバー表面のポロシティにかなりの違いのあることがはっきりと分かる。

セラミック・カバーと填料の相互作用、すなわちワイヤーの摩耗への影響をよりよく評価・算定するため、填料に関する追加の資料を必要とする。

3.4 填料とファインセラミックスの評価

ご存じのように填料は何時も同じ填料ではない。現在填料或いは塗料として使用されているカオリン、タクル或いは炭酸カルシウムの何であれ、製紙用としての品質は製造プロセスで決まる。炭酸カルシウムを使用する中性紙の操業を思い出して頂きたい。炭酸カルシウムのような填料は付着する位置、原料、形態・構造、硬度、粒度分布が著しく変わることがあるので、注意しなければならない。原料の硬度と形態・構造の他に、填料特に炭酸カルシウムでワイヤーの摩耗に影響する最も重要なものは粒度と粒度分布である。ワイヤーとセラミック・カバーの表面の間を移動する填料的粒子のサイズを測定することも可能である。

3.5 コンピューターによるファインセラミックスの選定

我々は摩耗の過程を表現すべくコンピューター処理装置を開発した。これらの資料を用いて、ファイン・セラミック・カバーが極めて異なったポロシティ、そしてとりわけ異なったサイズの小さな孔の表面を持つことが出来るのが分かるのである。こうして、もし我々が填料の粒度を知れば、填料の粒子はセラミック・カバーの表面の小さな孔より大きいのか、おおよそ同じ大きさか、或いは小さいかも分かるのである。

このようにして、もし填料の粒子が小さな孔より小さければ、粒子はセラミックの表面の小さな孔に落ち込み、また粒子のサイズがほぼ同じなら粒子は小さな孔に滞留するか、或いは粒子が小さな孔より大きけれ

図7 Wear System

ば粒子は小さな孔の間を越えて移動する。

ワイヤーの摩耗は相対速度により大きく決まるので、我々はペーパー・マシンでの摩耗のメカニズム、すなわちセラミック・カバーと填料、そしてワイヤーの相互作用を IBAS 測定法によってより良く理解することが出来る。例えばファイン・セラミックの表面の小さな孔が填料の粒度に適合するとか、或いは填料の粒度がファイン・セラミック・カバーの表面の小さな孔に適合するのか分かるのである。

二つの測定には、ワイヤーの摩耗を減らす、或いは最大限に利用するとか、ペーパー・マシンの駆動用動力を減少させるという目的がある。

現在、填料やワイヤーのメーカーと同様に、セラミック・メーカーは新しいペーパー・マシンで、より高い生産性を達成するために、製紙業界の積極的な支持と協力を得ながら、大きな貢献をすることが出来ると確信するものである。